

## **ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КОСМОЛОГИИ**

В общей теории относительности (ОТО) были раскрыты новые стороны зависимости пространственно-временных отношений от материальных процессов. Эта теория подвела физические основания под неевклидовы геометрии и связала кривизну пространства и отступление его метрики от евклидовой с действием гравитационных полей, создаваемых массами тел. Общая теория относительности исходит из принципа эквивалентности инерционной и гравитационной масс, количественное равенство которых давно установлено в классической физике. Кинематические эффекты, возникающие под действием гравитационных сил, эквивалентны эффектам, возникающим под действием ускорения. Так, если ракета взлетает с ускорением  $2g$ , то экипаж ракеты будет чувствовать себя так, будто он находится в удвоенном поле тяжести Земли. Эйнштейн усмотрел в этом равенстве исходный пункт, на базе которого можно объяснить загадку гравитации. Эйнштейн сформулировал принцип эквивалентности: «физически невозможно отличить действие однородного гравитационного поля, порождённого равноускоренным движением». Принцип эквивалентности помог сформулировать основные принципы, на которых базируется новая теория: гипотеза о геометрической природе гравитации, о взаимосвязи геометрии пространства-времени и материи. Именно на основе принципа эквивалентности масс был обобщён принцип относительности, утверждающий в общей теории относительности инвариантность законов природы в любых системах отсчёта, как инерционных, так и неинерционных.

Как можно представить себе искривление пространства, о котором говорит ОТО? Представим себе очень тонкий лист резины и будем считать, что это – модель пространства. Расположим на этом листе большие и маленькие шарики – модели звёзд. Эти шарики будут прогибать лист резины тем больше, чем больше масса шарика. Это наглядно демонстрирует зависимость кривизны пространства от массы тела и показывает также, что привычная нам евклидова геометрия в данном случае не действует (работают геометрии Лобачевского и Римана). Теория относительности установила не только искривление пространства под действием полей тяготения, но и замедление хода времени в сильных гравитационных полях. Даже тяготение Солнца – достаточно небольшой звезды по космическим меркам – влияет на темп протекания времени, замедляя его вблизи себя.

Одной из причин создания ОТО было желание Эйнштейна избавить физику от необходимости введения инерциальной системы отсчёта. Создание новой теории началось с пересмотра концепции пространства и

времени в полевой доктрине Фарадея-Максвелла и специальной теории относительности. Эйнштейн сосредоточил внимание на одном важном пункте, который остался незатронутым. Речь идёт о следующем положении специальной теории относительности: «... двум выбранным материальным точкам покоящегося тела всегда соответствует некоторый отрезок определённой длины, независимо как от положения и ориентации тела, так и от времени. Двум отмеченным показаниям стрелки часов, покоящихся тел относительно некоторой системы координат, всегда соответствует интервал времени определённой величины, независимо от места и времени». Специальная теория относительности не затрагивала проблему воздействия материи на структуру пространства-времени, а в ОТО Эйнштейн непосредственно обратился к органической взаимосвязи материи, движения, пространства и времени.

В работе «Относительность и проблема пространства» (1952) Эйнштейн специально рассматривает вопрос о специфике понятия пространства в общей теории относительности. Согласно этой теории пространство не существует отдельно, как нечто противоположное «тому, что заполняет пространство» и что зависит от координат. «Пустое пространство, т.е. пространство без поля не существует. Пространство-время существует не само по себе, а только как структурное свойство поля». Теория относительности показала единство пространства и времени, выражающееся в совместном изменении их характеристик в зависимости от концентрации масс и их движения. Время и пространство перестали рассматриваться независимо друг от друга, и возникло представление о пространственно-временном четырёхмерном континууме.

Для ОТО до сих пор актуальной является проблема перехода от теоретических к физическим наблюдаемым величинам. Теория предсказала и объяснила три общерелятивистских эффекта: были предсказаны и вычислены конкретные значения смещения перигелия Меркурия; было предсказано и обнаружено отклонение световых лучей звёзд при их прохождении вблизи Солнца; был предсказан и обнаружен эффект красного гравитационного смещения частоты спектральных линий.

Рассмотрим далее в некотором приближении релятивистскую космологию, поскольку именно с ней связано дальнейшее развитие пространственно-временных представлений современной физики.

Классические представления о Вселенной можно охарактеризовать следующим образом: Вселенная бесконечна и однородна в пространстве и стационарна во времени. Такие представления являлись одним из следствий механики Ньютона – это абсолютные пространства и время, последнее по своему характеру евклидово. Такая модель казалась очень гармоничной и естественной, на уровне бытового сознания данная модель доминирует и в начале нашего, 21 века.

Однако первые попытки приложения к этой модели физических законов и концепций привели к неестественным выводам. Уже классическая космология требовала пересмотра некоторых фундаментальных положений (стационарность Вселенной, её однородность и изотропность, евклидовость пространства), чтобы

преодолеть противоречия. Однако в рамках классической космологии преодолеть противоречия не удалось.

Модель Вселенной, которая следовала из ОТО, связана с ревизией всех фундаментальных положений классической космологии. ОТО отождествила гравитацию с искривлением четырёхмерного пространства-времени. Чтобы построить работающую относительно несложную модель, учёные вынуждены ограничить всеобщий пересмотр фундаментальных положений классической космологии: ОТО дополняется космологическим постулатом однородности и изотропности Вселенной. Строгое выполнение принципа изотропности Вселенной ведёт к признанию её однородности. На основе этого постулата в релятивистскую космологию вводится понятие мирового пространства и времени. Но это не абсолютные пространства и время Ньютона, которые хотя тоже были однородными и изотропными, но в силу евклидовости пространства имели нулевую кривизну. В применении к неевклидову пространству условия однородности и изотропности влекут постоянство кривизны, и здесь возможны три модификации такого пространства: с нулевой, отрицательной и положительной кривизной.

Возможность для пространства и времени иметь различные значения постоянной кривизны подняли в космологии вопрос о конечности или бесконечности Вселенной. В классической космологии подобного вопроса не возникало, т.к. евклидовость пространства и времени однозначно обуславливала её бесконечность. Однако в релятивистской космологии возможен и вариант конечной Вселенной – это соответствует пространству положительной кривизны.

Вселенная Эйнштейна представляет собой трёхмерную сферу – замкнутое в себе неевклидово трёхмерное пространство. Оно является конечным, хотя и безграничным, Вселенная Эйнштейна конечна в пространстве, но бесконечна во времени. Однако стационарность вступила в противоречие с ОТО, – Вселенная оказалась неустойчивой и стремилась либо расшириться, либо сжаться. Чтобы устранить это противоречие, Эйнштейн ввёл в уравнение новый член, с помощью которого во Вселенную вводились новые силы, пропорциональные расстоянию, – их можно представить как силы притяжения и отталкивания.

Дальнейшее развитие космологии оказалось связанным не со статической моделью Вселенной. Впервые нестационарная модель была развита А.А. Фридманом. Метрические свойства пространства оказались изменяющимися во времени. Выяснилось, что Вселенная расширяется. Подтверждение этого было обнаружено в 1929 Эдвином Хабблом, который наблюдал красное смещение спектра. Оказалось, что скорость разбегания галактик возрастает с расстоянием и подчиняется закону Хаббла  $V = H \cdot L$ , где  $H$  – постоянная Хаббла,  $L$  – расстояние. В связи с этим встанет две важные проблемы: проблема расширения пространства и проблема начала времени. Существует гипотеза, что так называемое «разбегание галактик» – наглядное обозначение раскрытой космологией нестационарности пространственной метрики. Таким образом, не галактики разлетаются в неизменном пространстве, а расширяется само пространство.

Вторая проблема связана с представлениями о начале времени. Истоки истории Вселенной относятся к моменту времени  $t=0$ , когда произошел так называемый «Большой взрыв», – понятие времени до этого момента лишено физического, да и любого другого смысла.

В релятивистской космологии была показана относительность конечности и бесконечности времени в различных системах отсчёта. Это положение особо чётко отразилось в представлениях о «чёрных дырах». Речь идёт об одном из наиболее интересных явлений современной космологии – гравитационном коллапсе. С. Хокинг и Дж. Эллис отмечают: «Расширение Вселенной во многих отношениях подобно коллапсу звезды, если не считать того, что направление времени при расширении обратное».

Как «начало» Вселенной, так и процессы в «чёрных дырах» связаны со сверхплотным состоянием материи. Таким свойством обладают космические тела после пересечения сферы Шварцшильда. Независимо от того, в каком состоянии космический объект пересек соответствующую сферу Шварцшильда, далее он стремительно переходит в сверхплотное состояние в процессе гравитационного коллапса. После этого от звезды невозможно получить никакой информации, т.к. ничто не может вырваться из этой сферы в окружающее пространство- время: образуется «чёрная дыра».

Между чёрной дырой и наблюдателем в обычном мире пролегает бесконечность, т.к. такая звезда находится за бесконечностью во времени. Гравитационное замедление времени, мерой и свидетельством которого служит красное смещение, – очень значительно вблизи нейтронной звезды, а вблизи чёрной дыры, у её гравитационного радиуса, оно столь велико, что время там словно бы замирает. Для тела, попадающего в поле тяготения чёрной дыры, образованной массой, равной трём массам Солнца, падение с расстояния 1 млн. км до гравитационного радиуса занимает всего около часа. Но по часам, которые покоятся вдали от чёрной дыры, свободное падение тела в её поле растянется во времени до бесконечности. Чем ближе падающее тело к гравитационному радиусу, тем более медленным будет представляться этот полёт удалённому наблюдателю. Тело, наблюдаемое издалека, будет бесконечно долго приближаться к гравитационному радиусу и никогда не достигнет его. В этом проявляется замедление времени вблизи чёрной дыры.

Таким образом, оказалось, что пространство-время в ОТО содержит сингулярности, наличие которых заставляет пересмотреть концепцию пространственно-временного континуума как некоего дифференцируемого «гладкого» многообразия. Возникает проблема, связанная с представлением о конечной стадии гравитационного коллапса, когда вся масса звезды спрессовывается в точке ( $r \rightarrow 0$ ), когда бесконечна плотность материи, бесконечна кривизна пространства и т.д. Это вызывает обоснованное сомнение. Некоторые астрофизики считают, что в заключительной стадии гравитационного коллапса вообще не существует пространства-времени. С. Хокинг пишет: «Сингулярность – это место, где разрушается классическая концепция пространства и времени так же, как и все известные законы физики, поскольку все они формулируются на

основе классического пространства-времени». Этих представлений придерживается большинство современных физиков.

На заключительных стадиях гравитационного коллапса вблизи следует принимать во внимание квантовые эффекты. Представляется, что они играют на этом уровне доминирующую роль и могут вообще не допускать сингулярности. Предполагается, что в этой области происходят субмикроскопические флуктуации материи, которые и составляют основу глубокого микромира.

Итогом можно заключить: представления о пространстве и времени, формулирующиеся в теории относительности Эйнштейна, на сегодняшний день являются наиболее последовательными. Но они являются макроскопическими, т.к. опираются на опыт исследования макроскопических объектов, больших расстояний и больших промежутков времени. При построении теорий, описывающих явления макромира, эта классическая геометрическая картина, предполагающая непрерывность пространства и времени (пространственно-временной континуум), была перенесена на новую область без каких-либо её изменений. Экспериментальных данных, противоречащих применению теории относительности в микромире, пока нет. Но само развитие квантовых теорий, возможно, потребует пересмотра представлений о физическом пространстве и времени.

**М.Р. Москаленко**

*Уральский государственный  
технический университет – УПИ  
(Екатеринбург)*

### **УЧЕБНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ «КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» И «ИСТОРИЯ ЗАЩИТЫ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ» В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННОЙ ПАРАДИГМЫ ОБРАЗОВАНИЯ**

В системе современного высшего образования достаточно высока роль вспомогательных учебных дисциплин, формирующих общий уровень эрудиции выпускаемого специалиста и расширяющих его научный кругозор. Современный специалист – будь то инженер, управленец, дизайнер, – свыше 50% творческих идей черпает из смежных научных дисциплин, не относящихся прямо к его специальности.

Идеал широко эрудированного специалиста-интеллектуала существовал в СССР и пропагандировался советскими СМИ. В журналах для школьников «Пионер», «Костер» постоянно проводились научные викторины; на телеэкране огромную аудиторию собирала передача «Что? Где? Когда?». Любопытно, что и сейчас многие герои этой передачи, постаревшие на 20 лет, но имеющие потрясающую интеллектуальную форму и выглядящие явно моложе своего возраста, также продолжают выступать в данной программе. Они смогли найти и реализовать себя в современном мире во многом благодаря интеллекту и научному кругозору. Поэтому влияние на развитие студента учебных дисциплин, формирующих его мировоззрение и эрудицию, крайне высоко.